

日大理工 正 大津岩夫
日大理工 正 栗津清蔵
日大大学院 学 岡田 仁

重力式ダム等の余水吐を流下する高速放流水のエネルギー減勢方法として、下流水位・流量曲線が跳水曲線よりも低い場合には、シルや副ダムを用いた跳水式減勢工が多く用いられている。しかしながら、シル型減勢工の設計指針⁽⁴⁾についてはさらに検討の余地がある。この報告は鉛直シルによる強制跳水を支配する水理量間の関係、特にシルに作用する抗力、強制跳水によるエネルギー損失、強制跳水の長さについて実験的検討を加え、シル型減勢工の設計指針を確立しようとするものである。

シルによる強制跳水を支配する水理量間の関係 鉛直シル（連続バツフル）による強制跳水を支配する水理量間の関係は式(1)によって示されるものと推定される（図-1）。

$$f_1(v, h, S, x', h_2, L_t, g) = 0 \quad (1)$$

次元解析によって式(2)が推論される。

$$f_2\left(\frac{S}{h_1}, \frac{h_2}{h_1}, \frac{x'}{L_t}, F_1, \left(\frac{v}{\sqrt{gh_1}}\right), \frac{L_t}{h_1}\right) = 0 \quad (2)$$

さらに独立な無次元量の組合せについて検討すると式(3)が推論される。

$$f_3\left(\frac{S}{h_1}, \frac{h_2}{h_1}, \frac{x'}{L_t}, F_1\right) = 0 \quad (3)$$

式(3)に従って実験値を整理すると、例えば図-2が得られる。

与えられた F_1 , h_1 , S のもとで h_2 ($h_2 < h_1$) を低下させると、 x' は減少していき、 S があるシル高 S_c よりも小さい場合は、ついには飛散(Spray)する流況となるが、 $S \geq S_c$ の場合は、ある h_2 (このときの h_2 を h_{2*} とする) よりも水深を低下させても x' は変化しなくなり、シル前方に一定の流況の強制跳水が形成される。すなわち、下流水深がない場合、シル前方に一定の流況(ある x'/L_t の値)の強制跳水を得るための必要シル高 S^* は式(4)で示される。

$$f_4\left(\frac{S^*}{h_1}, \frac{x'}{L_t}, F_1\right) = 0 \quad h_2 \leq h_{2*} \quad (4)$$

さらに $(x'/L_t)_{\min}$ のとき $(S^*)_{\min} = S_c$ であるので、式(5)が得られる。すなわち、下流水深がない場合、最小必要シル高は S_c であり、 $S < S_c$ では Spray 状態となる。

$$f_5\left(\frac{S_c}{h_1}, F_1\right) = 0 \quad (5)$$

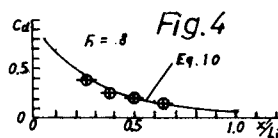
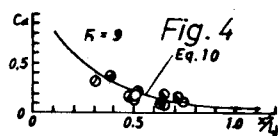
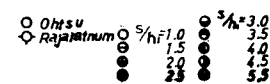
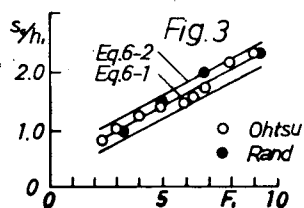
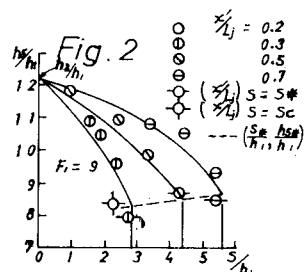
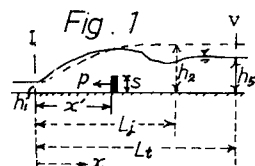
式(5)を実験値によって検討すると図-3が得られる。また、Randの実験値を、式(5)に従い整理するとはほぼ同一の相関が得られる（図-3）。なお、図-3より実験式を求めると式(6)が得られる。

$$\frac{S_c}{h_1} = 0.2/F_1 + 0.35 \quad (6-1)$$

$$\frac{S_c}{h_1} = 0.2/F_1 + 0.55 \quad (6-2)$$

$$2.32 \leq F_1 \leq 9.00 \quad (6-2) \text{ は安全側}$$

シルに作用する抗力 $h_2 > h_{2*}$ のとき、 $x < L_t$ にシルを設置すると、抗力 P が作用するため h_2 は $h_c < h_{2*} < h_2 < h_1$ となる。次元解析によると式(7)が得られる（ B : 水路幅）。



$$C_d = f_7(F_1, s/r_1, R_5/r_1, x/l_j) \quad \text{即ち } C_d = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v^2 B S} \quad (7)$$

I断面とV断面（V断面は流線の曲率の影響が小さく静水圧分布しているとみなせ、一般の開水路流と同一の流速分布となるシル下流の最初の断面である）間の流体をコントロールボリュームに選び（I, V断面で静水圧分布, $\beta = 1$ と仮定）x方向に運動量方程式を適用すると式(8)が得られる。 C_d は圧力計等により直接測定せず、式(8)によって間接的に求めた。

$$C_d = (R_5/r_1 - 1) [2F_1^2 - (R_5/r_1 + 1) R_5/r_1] / F_1^2 (s/r_1) (R_5/r_1) \quad (8)$$

式(7)、(8)より式(9)が得られる。

$$C_d = f_9(F_1, s/r_1, x/l_j) \quad (9)$$

式(9)に従って実験値（射流境界層が発達している場合）を整理すると図-4が得られる。さらに図-4には Rajaratnam and Murahari の直接測定（Water manometerによる）の実験結果を含めてプロットしてあり ほぼ同一の C_d が得られている。なお実験式を求める式(10)が得られる。

$$C_d = (0.128 F_1 - 0.090) e^{-(6.19 \log_{10} F_1 - 2.53) x/l_j} \quad (10)$$

$3 \leq F_1 \leq 9 \quad 0.2 \leq x/l_j < 1.0$

これより、 $0.5 \leq x/l_j < 1$ の場合は F_1 が小のときの方が、 $x/l_j < 0.5$ の場合は F_1 が大のときの方が C_d は大となり シルの効果は大きい。

強制跳水によるエネルギー損失 H_L I-V断面に $\alpha = 1$ と仮定しベルヌーイの定理を適用すると式(11)が得られる ($H = v^2/2g + p$)。

$$H_L/H_1 = (H_1 - H_5)/H_1 = 1 - \{2(R_5/r_1) + F_1^2(R_5/r_1)^2\} / (2 + F_1^2) \quad (11)$$

$R_5 = R_2$ (自由跳水) のとき、および $R_5 = R_c$ のとき (式(12)) を含めて、図-5 (実線 $R_5 > R_c$, 点線 $R_5 < R_c$) に示してあり 式(12)は式(11)の包絡線となっている。与えられた F_1 に対して、 R_5/r_1 の範囲は限定され、自由跳水よりむしろ大きい H_L/H_1 が得られる。

$$H_L/H_1 = 1 - 3F_1^2 / (2 + F_1^2) \quad (12)$$

強制跳水の長さ $R_5 > R_{5*}$ のとき I断面からV断面までの長さ L_t を強制跳水の長さとする。 L_t を強制跳水によるエネルギー損失の達成される長さとして解釈する。すなわち、ある大きさの H_L を得るためには、energy dissipation するためのある大きさの渦 (separation zone) が必要であり、その水路方向の長さが L_t である (図-6)。 L_t をこのように解釈すると式(13)が推論され、無次元化すると式(14)が得られる。式(14)に基づき資料を整理すると 図-7 のように良い相関が得られ、実験式、式(15)が得られた。

$$L_t = f(H_1, H_L) \quad (13)$$

$$L_t/H_1 = f(H_L/H_1) \quad (14)$$

$$\log_{10} (L_t/H_1) = -1.71 H_L/H_1 + 1.66 \quad (15)$$

(参考文献)

- (1) 水理公式集 (2) Walter Rand Flow Over a Vertical Sill in an Open Channel 1965 July ASCE.Hy.
(3) Rajaratnam and Murahari A Contribution to Forced Hydraulic Jumps Journal of Hy. Res. 1971. No. 2
(謝辞) 本研究を行なうにあたり、柳七郎君の協力を得た。記して謝意を表します。

